

变压器低电压短路阻抗测试异常案例分析与讨论

程 盛, 陈三运, 马 强, 邱 劲, 曾 军, 邹少勇

(湖北省宜昌供电公司, 湖北 宜昌 443003)

摘要: 笔者列举了5起交接试验时变压器阻抗电压与铭牌值相比偏差超过注意值的案例,分析了超标原因,介绍了投运前绕组移位、变形判定过程,提出了其电抗法判定原则及对新变压器加强全过程技术监督管理的建议。

关键词: 变压器; 短路阻抗; 偏差; 变形; 电抗法

中图分类号: TM51

文献标志码: B

文章编号: 1001-1609(2009)02-0108-04

Case Analysis of Over Standard of Low Voltage Short Circuit Impedance in Transformer Test

CHENG Sheng, CHEN San-yun, MA Qiang, QIU Jin, ZENG Jun, ZOU Shao-yong

(Yichang Power Supply Company of Hubei, Yichang 443003, China)

Abstract: Five cases are discussed, where the deviation between the voltage on impedance and the voltage on nameplate exceeds the specified range in short circuit impedance measuring during acceptance tests of the transformers. The causes of the deviation are analyzed, and the diagnosis procedures of the winding shift and deformation before transformer operation are introduced. In addition, the judging principle of the reactance method is proposed, and some suggestions about entire inspection and management for new transformers are offered.

Key words: transformer; short circuit impedance; deviation; deformation; reactance method

0 引言

作为电力系统重要的主设备,变压器的健康状况将严重影响电网的安全运行,绕组移位、变形已成为变压器事故的首要原因。造成变压器绕组变形的主要原因有:在运输、吊装过程中发生意外碰撞;在运行过程中遭受外部短路电流的冲击。

变压器短路阻抗是当负载阻抗为零时变压器内部的等效阻抗。短路阻抗的电抗分量 X_k ,一般可认为即是绕组的漏电抗,它是两个绕组相对距离(同心圆的两个绕组的半径 R 之差)的增函数,而且漏电感 L_k 与这两个绕组高度的算术平均值近似成反比。由于绕组对的短路电抗 X_k 和短路阻抗 Z_k 都是 L_k 的函数,因此,若绕组出现变形、位移, U_k 、 Z_k 、 X_k 、 L_k 亦均会有所反映。

即将颁布实施的《电力变压器绕组变形的电抗法检测判断导则》(简称《电抗法检测导则》)中4.1条明确规定了绕组变形的检测时机:变压器经运输到现场安装就位后,若运输过程中有剧烈震动,或受

到冲撞,或倾斜超出规定的,可在卸车(船)前进行。

《电抗法检测导则》中对阻抗电压 $>4\%$ 的同心圆绕组对各参数变化注意值有以下规定:纵比:容量 $100\text{ MV}\cdot\text{A}$ 及以下且电压 220 kV 以下的电力变压器绕组参数的相对变化均不应大于 $\pm 2.0\%$,容量 $100\text{ MV}\cdot\text{A}$ 以上或电压 220 kV 及以上的电力变压器绕组参数的相对变化不应大于 $\pm 1.6\%$;横比:容量 $100\text{ MV}\cdot\text{A}$ 及以下且电压 220 kV 以下的电力变压器绕组3个单相参数的最大相对互差不应大于 2.5% ,容量 $100\text{ MV}\cdot\text{A}$ 以上或电压 220 kV 及以上的电力变压器绕组3个单相参数的最大相对互差不应大于 2.0% 。

1 检测情况介绍

宜昌供电公司自2002年起在历年的反措中规定变压器交接试验时必须进行首次低电压短路阻抗测试,在交接试验中进行低电压短路阻抗测试目的有3点:①建立原始数据库,便于变压器在遭受出口短路、近区短路后有原始“指纹”数据进行纵向比较;②判断上下车船、吊装运输、本体就位过程中有无倾

收稿日期:2008-08-25; 修回日期:2008-12-13

作者简介:程 盛(1971-),男,湖北宜昌人,高级工程师,从事电气试验技术管理。

斜、冲撞、震动、跌落等不利因素造成绕组和铁心变形、移位;③检验变压器的制造工艺水平。三相变压器的3个单相线圈或同一批同类型同规格的变压器线圈的结构和组装尺寸设计值是一样的,三相参数的差异主要是由工艺过程造成的。宜昌供电公司短路阻抗测试判断原则为:单相电源法测试各单相绕组参数(短路电抗 X_k 、漏电感 L_k)进行横向比较;

三相电源法测试三相绕组综合阻抗电压 U_k 与铭牌值 U_{ke} 或出厂试验值 U_{ke1} 进行纵向比较。在《电抗法检测导则》出台初稿前,可供参考的依据只有GB 1094-85《电力变压器》第5部分《承受短路能力》中的“圆形同芯式变压器的电抗在短路电流冲击前后的变化不大于2%”,故宜昌供电公司规定低电压短路阻抗试验注意值均为2%。

宜昌供电公司从2002年开始在交接和停电预防性试验时开展低电压短路阻抗测试,也对发生出口和近区短路的十多台次变压器进行绕组变形检测,累积检测变压器近300台次。使用的仪器为天水长城(西安天城)电力仪器设备厂生产的《CD9882型变压器动稳定状态参数测试仪》。我公司2005年至今共进行110kV及以上变压器交接试验38台,其中220kV变压器11台,110kV变压器27台,在交接试验中阻抗电压实测值与铭牌值相对偏差超过注意值的有7台,其中220kV变压器2台,110kV变压器5台,分别占测检总数的18.2%、18.5%。

2 案例分析

(1) 案例1

2006年某110kV变电站一台A厂2000年生产的2000MV·A变压器,因容量不够移至另一变电站,该厂生产的一台新变压器接替老变压器运行。新变压器型号为SSZ11-31500,额定电压 $110\pm 8\times 1.25\%/38.5\pm 3\times 2.5\%/11$ kV,组别YnYnd11(事例中各变压器均为此组别)。

2006年6月对变压器进行交接试验,绕组高对中阻抗电压实测值 U_k 为10.44%,与铭牌值 $U_{ke}=10.17\%$ 相比,偏差 ΔU_k 为2.65%。高对中绕组三相电抗值 X_k 分别为38.52、38.38、38.27 Ω ,偏差 ΔX_k 为0.65%。虽然阻抗电压值的纵向比较大于注意值,但考虑到绕组单相电抗值和三相频响曲线的横向比较都无较大差异,仔细分析后判定该变压器绕组无异常。

(2) 案例2

案例1中提到的A厂型号为SFSZ9-20000/110的变压器因容量不够迁至另一变电站运行,2007年2月在该变压器迁移就位后进行了首次短路阻抗和频率响应试验。

高中低三侧绕组频率响应曲线相关系数见表1。绕组高对低、高对中阻抗电压实测值 U_k 与铭牌值

U_{ke} 相比,偏差 ΔU_k 分别为5.72%、-4.2%;高对低三相电抗 X_k 分别为99.80、99.95、99.42 Ω ,三相电抗最大偏差 ΔX_k 为0.5%;高对中三相电抗 X_k 分别为59.70、59.55、59.46 Ω ,三相电抗最大偏差值 ΔX_k 为0.3%。

表1 绕组频响曲线相关系数表

相别	高压绕组相关系数		中压绕组相关系数		低压绕组相关系数			
	低频	中频	低频	中频	低频	中频		
AO-BO	1.66	2.97	$A_nO_n-B_nO_n$	2.02	1.07	ab-bc	2.48	1.74
BO-CO	1.48	2.46	$B_nO_n-C_nO_n$	3.03	1.20	bc-ca	2.25	1.52
AO-CO	1.48	2.51	$A_nO_n-C_nO_n$	2.09	1.49	ca-ab	2.77	1.31

虽然高对低、高对中绕组短路阻抗值与铭牌值均超过2%的注意值,但单相法测出的三相电抗值基本无差异,而且频响法测试显示波形良好,在仔细分析后认定绕组无异常,随后在征得各方面同意后进行了操作波感应耐压试验。A、B相感应耐压试验通过,但C相耐压时出现击穿,波形显示击穿时高压侧电压为298kV,中压侧为110kV。

有厂方参与的变压器复试结果仍然如上所述,经过协商后返厂拨线圈解体检查,但未发现异常。该变压器重新组装后的出厂试验结果为:高对中、高对低阻抗电压值 U_{ke1} 分别为10.4%、17.22%(与铭牌值 U_{ke} 10.74%、16.58%分别相差-3.2%、3.9%)。2007年5月运抵安装就位后再次在现场按厂家要求进行了低电压短路阻抗试验。现场高对中、高对低阻抗电压值 U_k 分别为10.3%、17.56%,与出厂试验值10.4%、17.22%相比偏差为0.98%、1.95%,与铭牌值相比偏差为-4.1%、5.9%。

表2为2007年2月、2007年5月两次绕组阻抗电压值与铭牌值、出厂值的偏差,表3为两次试验时高对低、高对中各绕组单相参数的对比。

表2 两次绕组阻抗电压与铭牌值、出厂值的偏差

绕组	2007年2月			2007年5月		
	$U_k/\%$	$U_{ke}/\%$	$\Delta U_k/\%$	$U_k/\%$	$U_{ke1}/\%$	$\Delta U_{k1}/\%$
高对中	10.29	10.74	-4.2	10.30	10.40	0.98
高对低	17.53	16.58	5.7	17.56	17.22	1.95

注: U_k 为两次试验实测值, U_{ke} 为铭牌值, U_{ke1} 为出厂值, ΔU_k 、 ΔU_{k1} 分别为 U_k 与 U_{ke} 、 U_k 与 U_{ke1} 的相对偏差。

表3 绕组单相参数两次试验的纵向比较

部位	参数	测试时间	A相	偏差/%	B相	偏差/%	C相	偏差/%
高对低	X_k/Ω	2007.02	99.80	-0.04	99.95	-0.22	99.42	-0.43
		2007.05	99.84		100.17		99.85	
	L_k/mH	2007.02	317.67	0.12	318.16	-0.22	316.47	-0.43
		2007.05	317.29		318.85		317.82	
高对中	X_k/Ω	2007.02	59.70	-0.03	59.55	-0.02	59.46	-0.17
		2007.05	59.72		59.56		59.56	
	L_k/mH	2007.02	190.01	-0.04	189.56	-0.02	189.27	-0.16
		2007.05	190.09		189.59		189.58	

注: X_k 为各绕组对电抗值, L_k 为各绕组对电感值。

从表 2、3 可看出,现场 2007 年 2 月、2007 年 5 月两次阻抗电压实测值相差甚小,偏差分别为 0.1%、0.17%,单相电抗值最大偏差也仅为-0.43%,这说明解体前后绕组动稳定状况(布置、结构、距离等)没有变化,这也进一步说明解体前绕组动稳定状况良好。由于解体前后各绕组的布置、结构、距离等没有任何改变,那么铭牌值就应该和 2007 年 5 月的出厂试验结果一致,让人疑惑不解是出厂试验值与铭牌值偏差达-4.10%、5.91%,远大于导则规定的复验分散性不大于 0.2%的要求。鉴于在变压器内部未发现击穿痕迹,耐压时击穿疑为外部放电或闪络,试验击穿与绕组动稳定状态无直接联系。

(3) 案例 3

同是 A 厂生产的型号为 SSZ11-40000/110 变压器,额定电压为 $110 \pm 8 \times 1.25\% / 38.5 \pm 3 \times 2.5\% / 11$ kV,新变压器在安装就位后于 2007 年 4 月进行低电压短路阻抗试验。试验数据见表 4。

表 4 高对低绕组阻抗电压与铭牌值、出厂值的偏差

绕组	$U_k / \%$	$U_{ke} / \%$	$\Delta U_k / \%$	$U_{ke1} / \%$	$\Delta U_{ke} / \%$	$\Delta U_{k1} / \%$
高对低	18.41	17.84	3.20	18.63	4.43	-1.18

表 4 中, U_k 为实测阻抗电压值, U_{ke} 为铭牌值, U_{ke1} 为出厂试验值, ΔU_k 、 ΔU_{ke} 、 ΔU_{k1} 分别为 U_k 与 U_{ke} 、 U_{ke} 与 U_{ke1} 、 U_k 与 U_{k1} 的相对偏差

高对低绕组阻抗电压实测值 $U_k=18.41\%$,与铭牌值 $U_{ke}=17.84\%$ 相比,相对偏差 ΔU_k 为 3.2%,大于 2%(注意值)。单相电源法测出的高对低绕组的单相电抗值分别为 52.35、52.32、52.48 Ω ,最大偏差 $\Delta X_k=0.18\%$ 。

查阅出厂试验报告,报告中只有阻抗电压的最终换算结果,而无具体电流、电压实测试验数据。鉴于 A 厂已出现过两起阻抗电压现场实测值与铭牌值偏差较大的异常情况(见案例 1 和 2),与厂家取得联系后,得到出厂试验时的原始试验数据:低压绕组短接,高压绕组加压,电流 2 A 时,OA、OB、OC 电压分别为 112.6、112.5、113.0 V。

$$U_{ke1} = \frac{\sqrt{3}(U_{oa} + U_{ob} + U_{oc})}{3} \times \frac{I_e}{I \times U_e} = \frac{\sqrt{3}(112.6 + 112.5 + 113.0)}{3} \times \frac{210}{2 \times 110000} = 18.63\%$$

根据厂家原始试验数据,可以计算出阻抗电压出厂值 U_{ke1} 应为 18.63%,铭牌值 U_{ke} 与出厂值 U_{ke1} 相比,偏差 ΔU_{ke} 为 4.43%。铭牌值 U_k 与出厂值 U_{k1} 相比,相对偏差 $\Delta U_{k1}=-1.18\%$,小于注意值,判定绕组无移位、变形。

(4) 案例 4

某 220 kV 变电所已有一台 1 号变运行,2007 年

新增一台 2 号新变压器。该变压器由 B 厂生产,型号为 SFSZ10-180000/220,额定电压为 $230 \pm 8 \times 1.25\% / 115 / 10.5$ kV。2007 年 11 月,试验人员对 2 号变压器进行交接试验。绕组高对中阻抗电压实测值 U_k 为 13.55%,与铭牌值 $U_{ke}=12.91\%$ 相比,相对偏差 ΔU_k 为 4.96%,试验数据见表 5。

表 5 绕组阻抗电压与铭牌值、出厂值的偏差

绕组	$U_k / \%$	$U_{ke} / \%$	$U_{ke1} / \%$	$\Delta U_k / \%$	$\Delta U_{k1} / \%$
高对中	13.55	12.91	13.51	4.96	0.29

绕组高对低、高对中、中对低单相电抗值偏差分别为 0.38%、1.7%、1.71%。频响法测试显示,三相绕组横向比较波峰波谷位置无明显变化,频响曲线相关系数见表 6。

表 6 绕组频响曲线相关系数表

相别	高压绕组相关系数		中压绕组相关系数		低压绕组相关系数			
	低频	中频	相别	低频	中频	相别	低频	中频
AO-BO	2.14	2.14	$A_m O_m - B_m O_m$	2.08	1.37	ab-bc	3.99	2.42
BO-CO	1.59	2.16	$B_m O_m - C_m O_m$	2.26	1.50	bc-ca	4.29	1.95
AO-CO	1.70	3.16	$A_m O_m - C_m O_m$	2.05	1.30	ca-ab	3.81	2.40

阻抗电压值与铭牌值的横向比较与单相电抗值、频响曲线的横向比较相矛盾,在我方要求下,厂方自带试验设备对该变压器进行了复试,厂方测得 U_k 值为 13.51%。 U_k 与 U_{ke1} (正确铭牌值)的偏差为 0.29%,判定绕组无异常。

对铭牌值的错误有两种不同的说法:①实习生错打了铭牌数值;②厂方在出厂试验时发现实测值与技术协议中的规定值相差颇大,对试验数据进行了更改。

值得注意的是:①变压器抵达现场后验收时发现冲撞记录仪未打开,只得进行吊罩检查,检查中未发现变形、移位现象;②绕组高对中原铭牌值为 12.91%,与 1 号变铭牌值一样。

案例 5

2008 年 4 月,试验人员对 C 厂生产的一台型号为 SSZ11-40000/110、编号为 7101009、额定电压为 $115 \pm 8 \times 1.25\% / 38.5 \pm 3 \times 2.5\% / 10.5$ kV 的新变压器进行交接试验。

绕组高对低阻抗电压实测值 U_k 为 18.99%,与铭牌值 $U_{ke}=18.16\%$ 相比,相对偏差 ΔU_k 为 4.55%。单相电抗值的测试结果为高对低、高对中单相电抗值偏差分别为 0.97%、1.6%。频率响应曲线显示,三相绕组横向比较波峰波谷位置无明显变化,频响曲线相关系数见表 7。

由于出厂试验报告中只有最终测试结果而无电流、电压值及测试方法,故要求厂家提供电流、电压试验值。温度 35 $^{\circ}\text{C}$ 时,厂家施加电流 686 A,阻抗电压为 595 V,归算到额定电流下阻抗电压为 1 907 V,短路阻抗为 18.16%。

表7 三相绕组频响曲线相关系数表

高压绕组相关系数			中压绕组相关系数			低压绕组相关系数		
相别	低频	中频	相别	低频	中频	相别	低频	中频
AO-BO	1.81	1.69	A _n O _m -B _m O _n	2.18	2.03	ab-bc	2.37	1.58
BO-CO	1.96	1.60	B _n O _m -C _m O _n	2.26	1.94	bc-ca	2.38	1.57
AO-CO	2.12	1.81	A _n O _m -C _m O _n	2.22	2.27	ca-ab	4.57	2.83

厂家对现场实测值与铭牌值相差较大的解释是出厂试验与现场试验时施加电流值不一样造成了测试结果的差异。低电压下测量与额定电流下的测试结果相比可以认为等效（不大于千分之二的误差），这是构成低电压电抗法可以在施加不同电压、电流情况下检测绕组各项参数并进行对比的物理基础。厂家的解释与低电压电抗法的测试原理相抵触。

3 讨论及建议

(1)同一型号的变压器各项技术参数在理论上差异应很小,但由于厂方工艺执行上的差异,往往会造成产品由同一图纸生产但技术参数相差较大。不能排除个别变压器厂家将某一台变压器的短路阻抗值或设计值套用到同一类变压器铭牌上的可能。部分变压器短路阻抗铭牌值未能真实反映变压器的技术参数,且与出厂试验值相比不一致,这已被案例2、3、4所证实。

(2)由于部分变压器铭牌值不能真实反应其技术参数,对投运前绕组变形、松动的判断应采取阻抗电压值与铭牌值、出厂值纵向比较与各绕组电抗值横向比较相结合的原则,必要时配合绕组频响曲线的横向比较进行判断,并要充分考虑到同一厂家生产的变压器以往短路阻抗测试情况。短路阻抗实测值与铭牌值、出厂值的相对偏差只能参考,不能作为绕组稳定性较差的唯一依据。当与铭牌值相比超过导则注意值时应再与出厂值相比,与出厂值相比依然超过注意值时,应充分尊重绕组单相电抗参数之间的横向比较结果。

(3)鉴于国内已发生过因阻抗电压值不符合技术协议或GB 1094.1-1996《电力变压器》中短路阻抗允许值而引起纠纷的事例^[1],出厂验收时应根据技术协议和GB 1094.1-1996中允许偏差值确定阻抗电压是否在允许误差范围内,按照现场见证的要

(上接第107页)

(实为罕见的小概率事件),将导致相关阀段13只晶闸管得不到足够的触发光能量,致使部分晶闸管BOD正向保护触发动作,当超过“BOD动作允许数”(8个)时,VBE发跳闸信号,上报站控系统,停机。

4 结语

笔者认为采用方案1,将有助于消除激光发射检测中误报这一缺陷。而方案2则用“BOD超过允

许,加强出厂验收时的短路阻抗检测。订货时的商务合同中对短路阻抗实测值与额定分接位置的保证值相比超过允许值时规定了具体的降低销售价格条款,见证人员应认真进行验收,防止生产商因实测值达不到合同要求而有意弄虚作假欺骗用户。如果未进行出厂试验见证,一旦现场试验结果与出厂试验值差异过大,其原因就很难分析清楚。

(4)建议在技术协议中规定出厂试验报告中应按照《十八项电网重大反事故措施》要求详细记录低电压短路阻抗测试时电流、电压等参数的原始试验记录及换算过程,方便运输、安装就位后的纵向比较。

(5)当短路阻抗值与铭牌值相比有较明显偏差时,可依据湖北省电力公司《防止电力生产重大事故二十五项重点要求实施细则》20.2.9.1条“现场安装竣工后,必要时由制造厂家用同型号的仪器再进行绕组变形频率响应特性试验”的规定要求厂家携带仪器进行现场频率响应试验,将两次频响曲线进行纵向比较以判定变压器是否存在移位和变形。

(6)变压器投入运行后应按规程要求监测油中溶解气体体积分数及增长趋势,尽早地在变压器发生事故之前发现缺陷,防止确有变形移位的变压器因漏判混入电网运行。

4 结语

(1)个别变压器短路阻抗铭牌值与出厂试验值不一致,未能反映其真实技术参数。

(2)对投运前阻抗电压的判断应采取阻抗电压值与铭牌值、出厂值纵向比较与各绕组电抗值横向比较相结合的原则,必要时结合绕组频率响应曲线的横向比较进行分析,并要充分考虑到同厂家的变压器在交接试验中的以往测试情况。短路阻抗实测值与铭牌值相比超过导则注意值时应与出厂值相比,与出厂值相比依然超过注意值时,应充分尊重绕组单相电抗参数之间的横向比较结果。

参考文献:

- [1] 郭伟民,孙强,李建强.低电压电抗法诊断电力变压器器动稳定状态的实测分析[J].电力设备,2003(1):50-55.

许数”保护取代原激光监测保护,也是可行的。

参考文献:

- [1] MA TERN J. Technical Requirements and Data for Valve Control CSG/GG2/ED2.111.XS -0 [R]. Nurnberg Germany, Siemens, 2005.
- [2] BALBIERER S. Thyristor Control and Monitoring PTDH171/P-001135/ED2.112.[R]. Erlagen Germany, Siemens, 2003.